

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-155564

(P2003-155564A)

(43) 公開日 平成15年5月30日 (2003.5.30)

(51) Int.Cl.⁷

C 23 C 14/34

識別記号

F I

テ-マコ-ト⁷ (参考)

14/35

C 23 C 14/34

D 4K029

C

14/35

C

審査請求 未請求 請求項の数17 O.L (全12頁)

(21) 出願番号

特願2001-352606 (P2001-352606)

(71) 出願人 500557370

株式会社エフ・ティ・エスコーポレーション

(22) 出願日

平成13年11月19日 (2001.11.19)

東京都八王子市宇津木町940番地の165

(72) 発明者 門倉 貞夫

東京都八王子市宇津木町940番地の165

(74) 代理人 100096253

弁理士 尾身 祐助

Fターム (参考) 4K029 BA08 BA10 CA05 DC03 DC25

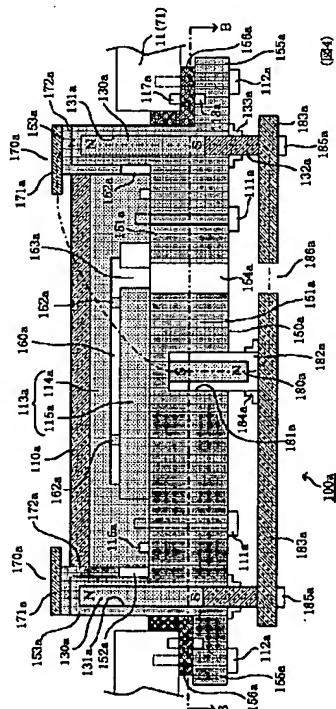
DC32 DC40

(54) 【発明の名称】 対向ターゲット式スパッタ装置

(57) 【要約】

【課題】 基板の幅方向 (図の手前側から奥行き方向) の成膜の膜厚を一定化する。

【解決手段】 所定の間隔を隔ててターゲット100a、ターゲット100b (図示なし) を対向配置し、各ターゲットの外周に沿って永久磁石130aからなる磁界発生手段を設けて該ターゲット間の対向空間を囲むターゲット110aに垂直な対向モードの磁界と該ターゲットの外周の前方近傍から中心寄りの表面に至るマグネットロンモードの磁界を形成した対向ターゲット部を備え、該対向空間内にプラズマを生成し、該対向空間の側方に配置した基板上に薄膜を形成するようにした対向ターゲット式スパッタ装置において、マグネットロンモードの磁界を調整する磁界調整手段としての永久磁石180aをその磁路中に設ける。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の間隔を隔てて一対のターゲットを対向配置し、該ターゲットの外周に沿って永久磁石からなる磁界発生手段を設けて該ターゲット間の対向空間を囲むターゲットに垂直な対向モードの磁界と該ターゲットの外周の前方近傍から中心部寄りの表面に至るマグネットロンモードの磁界を形成し、両磁界によりプラズマを拘束するスパッタ部を備え、該対向空間内にプラズマを生成し、該対向空間の側方に配置した基板上に薄膜を形成するようにした対向ターゲット式スパッタ装置において、前面にターゲットが取着される熱良導体からなるバッキング部と、前面に該バッキング部を収容する凹部を形成すると共に凹部の周壁に磁界発生手段の永久磁石の収納部を形成した熱良導体からなる一体物の支持体部を備え、該バッキング部の内部に配管接続口を除いて密閉された冷却ジャケットを設けると共にバッキング部を支持体部の凹部にその後面が直接接触するよう取着したことを特徴とする対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項2】 マグネットロンモードの磁界を局所的に調整する磁界調整手段を設けた請求項1記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項3】 所定の間隔を隔てて一対のターゲットを対向配置し、該ターゲットの外周に沿って永久磁石からなる磁界発生手段を設けて該ターゲット間の対向空間を囲むターゲットに垂直な対向モードの磁界と該ターゲットの外周の前方近傍から中心寄りの表面に至るマグネットロンモードの磁界を形成し、両磁界によりプラズマを拘束するスパッタ部を備え、該対向空間内にプラズマを生成し、該対向空間の側方に配置した基板上に薄膜を形成するようにした対向ターゲット式スパッタ装置において、マグネットロンモードの磁界を局所的に調整する磁界調整手段を設けたことを特徴とする対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項4】 該磁界調整手段がマグネットロンモードの磁界を移動することにより調整する請求項2又は3記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項5】 該磁界調整手段が永久磁石である請求項2～4記載のいずれかの対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項6】 該磁界調整手段がターゲットのスパッタ面側と反対側に設けられた請求項2～5記載のいずれかの対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項7】 該磁界調整手段がターゲットの前記基板面と平行な中心線に沿って設けられた請求項6記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項8】 ターゲットの形状が長方形であり、該磁界調整手段がターゲットの長軸に沿ってその両端部に設けられた請求項7記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項9】 ターゲットの周辺部の前方近傍に電子を

10

反射する電子反射手段を備え、マグネットロンモードの磁界は電子反射手段からターゲットの中心部に至る磁界である請求項1～8記載のいずれかの対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項10】 スパッタ部がその対向空間の側面の内、基板に対面する側面を除いたその他の全側面を遮蔽した箱型スパッタ部である請求項1～9記載のいずれかの対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項11】 箱型スパッタ部の内側表面の内、ターゲットの表面を除いた表面を網状体で覆った請求項10記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項12】 支持体部の後面に真空シールした電源接続部を設ける共に、冷却ジャケットの冷却配管接続部を真空シールした接続部とし、両接続部で真空遮断した請求項1、2、4～11記載のいずれかの対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項13】 両接続部から真空槽外部までは夫々金属管で配管する共に、該金属管を接続部若しくはその近傍で電気絶縁した請求項12記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項14】 磁界発生手段および磁界調整手段を真空シールした請求項12または13記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項15】 スパッタ部が支持体部をその凹部に取着したターゲットが所定の間隔で対向するよう所定長の連結棒で連結した一体構造である請求項1、2、4～14記載のいずれかの対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項16】 前記スパッタ部が同一真空槽内に複数個配置されている請求項15記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【請求項17】 真空槽内に基板を保持して所定の回転速度で回転させる基板保持手段とこれに保持された基板に向けて複数個の該スパッタ部を設け、基板を所定回転速度で回転させつつ該スパッタ部を1個づつ順次動作させて多層膜を形成する請求項15または16記載の対向ターゲット式スパッタ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、真空槽内に所定の間隔を隔てて少なくとも1対のターゲットを対向させて配置し、該ターゲットの外周に沿って永久磁石からなる磁界発生手段を設けて該対向空間内にプラズマを生成し、この対向空間に對面するようにその側方に配置した基板上に膜形成するようにした対向ターゲット式スパッタ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】前記対向ターゲット式スパッタ装置は、本発明者らが出願した特公昭63-20303号、特公昭63-20304号、特公昭62-14633号等の公報で既に公知であり、図1の構成を基本構成にしている。すなわち、真空槽1内

40

50

に所定距離の対向空間120を隔てて対向するように配置されたターゲット110a、110bと、該対向空間120の外縁部の側面を磁束が均一に覆うように磁界を発生させるターゲット110a、110bのそれぞれの背面に設けた磁界発生手段たる永久磁石130a、130bとからなる対向スパッタ部を設け、その側方に設けた基板ホルダー21により基板20を該対向空間120に配置する構成になっている。尚、図の140a、140bは、ターゲット部100a、100bのターゲット110a、110bの前面以外の部分がスパッタされないように保護するためのシールドである。従って、図示省略した排気系により排気口30を通して真空槽10内を排気した後、図示省略したガス導入手段により導入口40からアルゴン等のスパッタガスを導入し、図示の如く直流電源からなるスパッタ電源50によりシールド140a、140b従って真空槽10をアノード（陽極）（接地）に、ターゲット110a、110bをカソード（陰極）にしてスパッタ電力を供給すると、ターゲット110a、110bの間の対向空間120にスパッタプラズマが形成されてスパッタが行われ、基板20上にターゲット110a、110bの組成に対応した組成の薄膜が形成される。

【0003】この際、前述の構成によりターゲット110a、110bの面と垂直方向に磁界が形成されているので、ターゲット110a、110b間の対向空間120内に高エネルギーの電子が閉じ込められてプラズマが生成し、ここでのスパッタガスのイオン化が促進されてスパッタ速度が高くなり、高速の膜形成ができる。その上、基板20は、従来の代表的なスパッタ装置である基板とターゲットを対向配置した2極のスパッタ装置と異なり、ターゲット110a、110bの側方に配置されているので、基板20へのイオンや電子の衝突が非常に少なくなり、かつターゲット110a、110bからの熱輻射も小さく基板温度の上昇も小さくなり、低温の膜形成ができる。このように、従来のマグネットロン式スパッタ法では高速成膜が困難であった磁性材を含め各種材料を低温、高速で膜形成できる特徴を有し、薄膜型磁気記録媒体や磁気ヘッド等の磁性薄膜、金属膜、金属酸化物膜、セラミック膜等の製造に利用されている。ところで、通常この方式には長方形、円形のターゲットが用いられるが、ターゲットの形状に係らず、スパッタされて侵食されるターゲット表面についてはその中心部に侵食が集中し易く、ターゲットの利用効率を改善する必要があることが分かった。また、長方形ターゲットを使用した場合には、ターゲット侵食パターンがターゲット中央部に対して非対称となり、基板の幅方向（本願明細書において幅方向とは基板のターゲットに沿った方向、すなわち図1においては紙面に垂直な方向）においても膜厚分布が生じ、生産性及び薄膜の均一性についても改善を必要とすることが分かった。

【0004】これを解決するものとして対向ターゲット式スパッタ法の特徴であるプラズマ拘束条件をターゲット面全域に亘ってより一層均一に発現させる技術を、本

10

20

30

40

50

発明者らは特公平4-11624号、特公平5-75827号の公報で提案した。これら技術はスパッタプラズマを生成・拘束する技術として従来の対向ターゲット式スパッタ法におけるターゲット面に垂直な方向の磁力線（磁界）に加えてターゲット面の外縁部全周の近傍空間に電子を反射する電子反射手段を設けることを特徴にしている。この技術においては上述の垂直方向の対向モードの磁界に加えてターゲットの周辺の電子反射手段からターゲットの中心部に至るマグネットロンモードの磁界が形成され、対向したターゲットの間の空間を飛び交う高エネルギー電子は該空間をドリフトするとともにターゲット外縁部表面近傍のマグネットロンモードの電磁界によりターゲット外縁部を全周に亘って磁極に吸収されることなくドリフトするので全体的にスパッタガスのイオン化効率が著しく高まり、ターゲット全域に渡ってスパッタ効率を高めることが可能になった。本スパッタ技術により、基板とスパッタ源が対向する従来のスパッタ法では実現できない微細構造等の特性の優れた薄膜が形成できるとともに、ターゲット全域ではほぼ一様な侵食が可能になり、長方形ターゲットを使用した場合にもターゲット侵食パターンのターゲット中央部に対する対称性も飛躍的に改善した。ところで、その工業化に際しては、生産性の向上、長期信頼性の向上が必要である。これに対して、本発明者は、特開平10-330936号公報において、ターゲットの支持体部を一体構成とし、これに冷却部、磁界発生手段の永久磁石の収納部を設け、永久磁石を真空室内から隔離し、かつ冷却できるようにした対向ターゲット式スパッタ装置を提案した。この構成により、膜質を低下することなく、投入電力を格段に大きくでき、且つ長期に亘り永久磁石の性能低下もない装置が実現された。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】ところで、上述の対向ターゲット式スパッタ装置において、その工業化に際しては、以下の課題が残されていることが判った。上述の従来の対向ターゲット式スパッタ装置において、縦横比の大きな基板に成膜する場合や基板を一定速度で送りながら連続成膜する場合、他の物理蒸着法での連続成膜と同様に、その幅方向に膜厚分布が生じる。そして、従来の上述の対向ターゲット式スパッタ装置ではこの幅方向の膜厚分布を調整出来る手段が無く、この幅方向の膜厚分布はターゲットの寸法でほぼ機械的に決まり、所定の製品幅を得るためににはそれに応じた幅の広いターゲットを用いることになり、装置の大型化、ターゲットの利用効率等のコストにかかる問題があり、工業化に際しては、この改善が必要であった。また、この装置において、非磁性材の長方形のターゲットを用い、薄膜を形成したところ、長期の運転の結果、ターゲットの全面がほぼ均一に浸食されるのであるが、ターゲットの4隅部の近傍においてその一方の対角にある2隅部近傍と他方の

対角の2隅近傍で若干であるが浸食に差がある問題があり、工業化に際してはターゲットの利用効率、長期運転の面からやはり改善が必要であることが判った。

【0006】そして、工業化においては、基本的な課題として、信頼性、保全性、更には設備費等の面で更なる改善が常に要望されており、この面で支持体部とターゲットのバックング部の界面に冷却部の冷却ジャケットを形成する構成では、長期使用において真空シール等の経時劣化の問題もあり、これも含めてこれらの面での改善も必要であった。更に、工業化に際しては、薄膜形成装置として、コンパクトな構成で、多層の薄膜を生産性良く、高品質で形成できることが求められている。本発明はかかる対向ターゲット式スパッタ装置の工業化に伴う問題、課題を解決する装置、具体的には基本的な信頼性、保全性更には品質、設備費等の面が改善された対向ターゲット式スパッタ装置、ターゲットの浸食をより一層均一化でき、また幅方向の膜厚分布を調整できる対向ターゲット式スパッタ装置を目的とするものである。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題は、以下の本発明により達成される。すなわち、本発明は、所定の間隔を隔てて一対のターゲットを対向配置し、該ターゲットの外周に沿って永久磁石からなる磁界発生手段を設けて該ターゲット間の対向空間を囲むターゲットに垂直な対向モードの磁界と該ターゲットの外周の前方近傍から中心部寄りの表面に至るマグネットロンモードの磁界を形成し、両磁界によりプラズマを拘束するスパッタ部を備え、該対向空間内にプラズマを生成し、該対向空間の側方に配置した基板上に薄膜を形成するようにした対向ターゲット式スパッタ装置を基本構成とし、保全性、信頼性更には設備費の工業化における第1の課題を解決するものとして、この基本構成において、前面にターゲットが取着される熱良導体からなるバックング部と、前面に該バックング部を収容する凹部を形成すると共に凹部の周壁に磁界発生手段の永久磁石の収納部を形成した熱良導材からなる一体物の支持体部を備え、該バックング部の内部に配管接続口を除いて密閉された冷却ジャケットを設けると共にバックング部を支持体部の凹部にその後面が直接接触するように取着したことを特徴とする対向ターゲット式スパッタ装置を第1の発明とするものである。

【0008】そして、ターゲットの浸食をより一層均一化でき、また幅方向の膜厚分布を調整できるようにする第2の課題を解決するものとして、上記基本構成において、マグネットロンモードの磁界を局的に調整する磁界調整手段をその磁路中に設けたことを特徴とする対向ターゲット式スパッタ装置を第2の発明とするものである。上述の本発明は、以下のようにして為されたものである。すなわち、第1の発明については、前述の経時劣化の問題について検討の結果、支持体部に用いたアルミ

10

20

30

40

50

ニウムの冷却水による経時劣化により真空シール面が粗面化するのが原因と判った。そこで、その解決策について種々検討結果、真空シール面の劣化を防止するために真空シール部を冷却水と隔離できるバックング部の内部に密閉した冷却ジャケットを設ける構成とし、この構成により問題となる支持体部の冷却についてはバックング部を支持体部に直接接するように取り付ける構成で確保することにし、テストの結果支持体部の冷却も前記公報の構成と同程度で実質的に問題なくできることを見出し、為されたものである。第2の発明については、以下の通りである。すなわち、前述の両磁界を有する対向ターゲット式スパッタ装置は、両磁界のプラズマ閉じ込め作用によるプラズマが重畳されて効果的なスパッタが行われるものであるが、そのスパッタはターゲットの中心部においては対向モードの磁界によるプラズマにより支配され、その周辺部においてはマグネットロンモードの磁界によるプラズマにより主として支配されると考えられる。そこで、基板の幅方向の膜厚分布の調整に必要な幅方向での局的な調整可能性からマグネットロンモードの磁界に注目し、その分布を調整する磁界調整手段として、ターゲットの基板と平行な中心線の背後に磁界発生手段によるマグネットロンモードの磁界方向に向けて永久磁石を適宜に配置して検討したところ、ターゲットの幅方向における膜厚分布を調整できることを見出し、本発明は為されたものである。すなわち、磁界調整手段はその配置箇所及びその近傍を通る磁界発生手段のマグネットロンモードの磁界従ってターゲット表面近傍でのこの磁界を局的に調整することにより、当該箇所での対向モードの磁界との相互作用を含むプラズマ閉じ込め作用を部分的に調整すると考えられ、これによりターゲットの当該箇所のスパッタ速度が局的に調整され、膜厚分布の調整を行うものであり、従ってマグネットロンモードの磁界具体的にはその分布又は／及び強度を調整できるものであればよい。従って、検討では調整効果の大きい永久磁石を用いたが、マグネットロンモードの磁気回路の磁気抵抗を調整できる高透磁率の磁性材等も適用できる。また、永久磁石の磁界の方向もマグネットロンモードの磁界と同方向でも逆方向でもよいことも言うまでもない。

【0009】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照しその作用と共に詳細に説明する。

【第1の実施の形態】図2は、本発明の第1の実施の形態を示す概略の断面図であり、図3は、図2に示した本実施の形態に用いられるターゲット部の斜視図で、図4は図3でのA-A線での側断面図、図5は図4のB-B線での平面断面図である。なお、図2において、ターゲット部100aは、図4と同じ断面にて示されている。図2において、図1と同等の部分には同一参照番号が付せられているので、重複する説明は省略する。本実施の形態の図1に示した従来例と相違する点は、ターゲット部10

0a、100bの構成と、真空槽10を構成する槽壁11の対向する二つの面に開口部が設けられ、該開口部に本発明に係るターゲット部100a、100bが装着されている点である。よって、以下、図3～図5を参照して、本発明に係るターゲット部100a、100bについて説明する。

【0010】図3～図5より明らかかなように、本実施の形態は、前述の特開平10-330936号公報開示のものと、基本的な構成は同じである。図3～図5に示すように、本例の対向したターゲット部100a、100bは、真空槽10の槽壁11又は後述する第2の実施の形態の枠体71に一体的に取外し可能なユニット構成になっている。なお、図3～図5は、ターゲット部100aであるが、ターゲット部100bは磁界発生手段と磁界調整手段の永久磁石のN、S磁極の配置が逆になる点を除いてこのターゲット部100aと同じ構成であり、詳細図は省略する。図3から明らかかなように、ターゲット部100aは、支持体部150aのフランジ155aにより真空槽10の槽壁11に脱着可能に取り付けられる構成となっている。そして、ターゲット部100aは、以下のように支持体モジュールとターゲットモジュールと磁界調整モジュールとのモジュール構成になっている。図4に示すように、ターゲットモジュールは、ターゲット110aとバッキング部113aと電子反射手段170aとからなり、一体的に支持体モジュールの支持体部150aの前面のターゲットモジュールの取り付け部の凹部152aにその周辺部で一定間隔のボルト111aにより交換可能に取付けられている。

【0011】ところで、本例では、前述の特開平10-330936号公報開示のものと異なり、冷却ジャケット160aはバッキング部113aの内部に形成されている。すなわち、冷却ジャケット160aは、バッキング部113aの板状体からなるバッキング本体114aの後部（図では下部）にターゲット110aの全面をできる限りカバーする大きさで、図3に点線で示すジグザグの冷却溝161aを形成する隔壁162aを備えた段付凹部を形成し、この段部に冷却溝161aへの接続口163aを形成した蓋体115aを溶接して段付凹部を密閉することにより形成した。なお、バッキング部113a、隔壁162aは熱良導材、具体的には本例では銅とした。また、図示省略したが、接続口163aには接続具を介して合成樹脂のチューブを貫通孔154a、186aを通して配管し、冷却ジャケット160aに冷却水を通すことができるようとしてある。そして、このバッキング部113aの前面にターゲット110aを熱良導性の接着材本例ではインジウムで接着すると共に、図示のように電子反射手段170aをその側壁にボルト（図示省略）で取着して、ターゲットモジュールとした。なお、電子反射手段170aは、磁界発生手段の磁極を兼ねるように磁性体本例では鉄板からなり、図示のように支持体部150aの磁界発生手段の収納部となる周壁部153aの前面を覆い、ターゲット110aの周辺部に臨む幅の電子反射プレート部171aを、側断面が逆L字状の熱良導体の銅からなる取着部172aで支持した構

10

20

30

40

50

成となっている。従って、電子反射プレート171aは効果的に冷却される。

【0012】なお、このターゲットモジュールは、図4に示すように、下記に詳述する支持体モジュールの支持体部150aの支持本体部151aの前面の凹部152aに所定間隔のボルト111aによりバッキング部113aの後面が該凹部152aの表面に直接接するように取着される。なお、図の116aは、真空シール用のOリングであり、ここで真空槽10内と真空遮断している。本構成により冷却ジャケット160aは溶接でシールされ、且つ真空槽10内の真空部とはOリング116aでシールされるので、冷却水と真空部は二重シールになっており、冷却水の真空槽内への漏れはなく、且つ真空シールのOリング部は冷却水とは隔離されのでこれが冷却水に接する従来例で見られたシール性能の経時劣化等の問題も無く、全体として信頼性並びに保全性が向上する。そして、支持体部150aには、安価な材料、アルミニウム等が使用できる。支持体モジュールは、熱良導材本例ではアルミニウムのブロックから切削加工により図示のように成形された一体物の支持体部150aからなる。そして、その取付部のフランジ部155aにおいて電気絶縁材本例では耐熱性樹脂からなるバッキン156a及び真空シールのOリング117a、118aを介して槽壁11等に一定間隔のボルト112aにより取付けられている。

【0013】支持体部150aは、図3に示すように、外形は直方体の支持本体部151aの図で下面の後面側に槽壁11等への取り付け用の所定幅のフランジ部155aを設けた構成となっている。そして、支持本体部151aの前面（図で上面）には、ターゲットモジュールを取り付ける凹部152aが形成され、凹部152aを囲む周壁部153aには磁界発生手段となる永久磁石130aを収納する収納部131aが後面（図で下面）側から穿設されている。なお、周壁部153aの前面には、前述のように、電子反射手段170aが設けられているが、電子反射手段170aを設けない場合は、周壁153aは、ターゲット110aが磁性材の場合でもターゲット110aの周縁部の前面近傍にマグネットロンモードの磁界を確実に形成できるように、その前面が槽内側にターゲット110a前面より少し突き出すように設けることが好ましい。収納部131aは、図4、図5に示すように、槽外から磁界発生手段の永久磁石130aを出し入れできるように、槽外に開口した所定深さの溝穴からなっており、磁界発生手段はこの収納部131aの溝穴に所定長、所定幅の板状の永久磁石130aを図示の磁極配置で挿入して板状の磁性材からなるコア部材132aを介して断面がL字状の止め金具133aをボルト（図示省略）止めして固定し、所定数個の永久磁石130aをターゲット110aの周囲にこれを取り囲むように配設した構成となっている。

【0014】従って、永久磁石130aは、真空槽10内の真空部とは完全に遮断され、また直接接觸した熱伝導性の良い支持本体部151aとバッキング部113aを介して冷却ジャケット160aに熱的に接続しており、これにより効果的

に冷却される。従って、従来からよく問題になる真空槽10内の永久磁石130aからの不純ガスの混入の問題が解消し、且つ永久磁石130aの経時劣化も非常に小さく、信頼性、長期安定性、保全性が良いという効果を奏する。なお、この構成により支持本体部151aとバッキング部113aとの界面に沿って冷却ジャケットが形成された従来例と実質的に差のない冷却効果が得られた。また、永久磁石130aは、前記公報等で公知の通り上記の配置構成により、プラズマを閉じ込める磁界として、対向するターゲット部100bの永久磁石（図示省略）と共同して対向空間120を囲繞するターゲット110a、110bの垂直方向の対向モードの磁界と電子反射プレート部171aのターゲット側の内側端部からターゲット110aの中央部寄りの表面に向かう円弧状のマグネットロンモードの磁界を生ずる。そして、前者の対向モードの磁界でターゲット110aの中心部のスパッタが、後者のマグネットロンモードの磁界ではターゲット110aの周辺部のスパッタが支配され、全体として全表面にほぼ均一にスパッタされ、従来の代表的なスパッタ法であるプレーナマグネットロン式スパッタ法に比べ、全面均一なスパッタが実現される。

【0015】ところで、本例には、基板に形成される薄膜の膜厚分布特に幅方向における膜厚分布を調整する磁界調整手段が以下のように設けられている。すなわち、支持本体部150aの支持本体部151a後面側の基板と平行換言すれば基板幅方向の中心線上に磁界調整手段の永久磁石180aを取り付けるための所定深さで所定幅の溝部181aが穿設されている。なお、本形態では条件の変更例えは各種材質のターゲット110a等に対応して磁界調整手段の取付位置が容易に調整できるように溝部181aをターゲット110aのほぼ全幅に亘るように設けてある。そして、図5に示すようにこの溝部181aの両端部に磁界調整手段の所定長の板状の永久磁石180aが位置するように、磁界調整モジュールが支持本体部150aの後面に以下のように取着されている。磁界調整モジュールは、磁界発生手段の収納部131aの外周とほぼ同じ大きさの長方形の板状体からなる保持取着部183aの基板幅方向の中心線上に図4に示すように断面がコの字状の保持部182aを断面がJ字状の止め金具184aを介してボルト（図示省略）により取着し、この保持部182aの凹部に板状の永久磁石180aを嵌着して一体化した構成で、磁界発生手段のコア部材132aの後端にボルト185aにより取着されている。なお、図の186aは、冷却配管用の貫通孔である。従って、磁界調整手段である永久磁石180aを設けた個所におけるマグネットロンモードの磁路は、図4に二点鎖線で示すように、磁界発生手段である永久磁石130aの前端（図の上端）のN極から電子反射プレート部171aを経由してそのターゲット側の端部からターゲット110aを通して磁界調整手段の永久磁石180aの図で上端（S極）に至り、その下端から保持取着部183a、コア部材132aを経由して磁界発生手段の永久磁石130aの後端（図で下端）のS極に戻る回路とな

り、その磁界はこれに沿って主として形成される。一方、この永久磁石180aが配置されていない部分の磁路は、磁界発生手段の永久磁石130aのN極からS極に自然に向かう磁路となる。

【0016】これにより、従来の磁界調整手段のない場合と異なり、磁界調整手段によりターゲット110aの前面近傍のマグネットロンモードの磁界は磁界調整手段を設けた個所及びその近傍の限られた部分を局所的に調整できるので、ターゲットの基板の幅方向の適所において適切な磁界に調整でき、後述の成膜例に示すように形成される薄膜の幅方向の膜厚分布の調整ができる。なお、磁界調整手段で、このような効果が得られる理由は以下のように考えられる。すなわち、磁界調整手段は、本例では図示のようにその設置個所及びその近傍でマグネットロンモードの磁界をターゲットの中央寄りに移動してその分布を中央部の方に広げる。そして、これにより、当該個所で対向モードの磁界との交絡部分が増してその相互作用が強くなり、従って局所的にプラズマ拘束作用が増し、スパッタ速度従って膜厚が局所的に調整されると考えられる。なお、マグネットロンモードの磁界の強度を調整することにより、同様にその対向モードの磁界との相互作用が調整できるので、同じ効果が得られる。また、上述の磁界の移動方向、移動量は、その目的に応じて選択される。さらに、この構成により、ターゲット全面での浸食の均一化が一層良くなることが判った。従来例では前述のように長方形のターゲットの隅部近傍においてその一方の対角にある2隅部近傍と他方の対角の2隅近傍で若干であるが浸食に差がある問題があつたが、この磁界調整手段によりこの差が無くなり、後述の成膜例ではターゲットの利用効率が約10%向上した。これは直接膜製造コストに結びつくもので、工業生産では大きな効果となる。なお、磁界調整手段は、上述したところから明らかのように、前述の通りターゲット110aの前面近傍にプラズマを拘束するマグネットロンモードの磁界を調整できるものであればよく、本例の永久磁石の他、高透磁率の磁性材等も適用できる。具体的な配置、用いる磁石強度等は、ターゲットの材質、ターゲット周囲の機械的寸法、配置等多くの影響因子があるので、実験的或いはその蓄積に基づくシミュレーション等により決めるのが好ましい。

【0017】なお、本例では、上記磁路の安定化の面から保持部182a、保持取着部183aは高透磁率の磁性材、具体的には鉄材を用い、保持取着部183aに板状体を用いたが、ターゲット部の寸法・配置によっては磁性材を用いる必要は無く、これらは永久磁石180aを溝部181aに図示のように保持できるものであればよい。以上、ターゲット部100aは、支持本体部150aにその全部が設けられた構成となっている。そして、ターゲット部100aは、取付用のフランジ部155aを真空槽10の槽壁11に電気絶縁材具体的には耐熱性樹脂からなるパッキン156a、真空シール用O

11

リング117a、118aを介して一定間隔の電気絶縁材からなるボルト112aにより取付けることにより、図2に示されるように真空槽10の槽壁11に電気的に絶縁された状態で設置される。そして、スパッタ電源は槽壁11と支持体部150aの適所に配線する事により、図2に示すように真空槽10とターゲット110a、110bの間に供給される。図から判るように、本実施の形態の対向ターゲット式スパッタ装置は従来例に比較し、コンパクトな構成となり、真空槽内の構成も簡素で保全性もよく、更に真空容積も減少してそれだけ真空吸引時間も短くなり、生産性も向上する。

【0018】〔第2の実施の形態〕図6(a)、(b)は、本発明の第2の実施の形態の斜視概略図_そのターゲットユニット部の断面図である。本実施の形態においては、図2の実施の形態のターゲット部100a、100bを真空槽の槽壁11に取着するものとは異なり、ターゲット部100a、100bを直方体状の枠体71の対向側面71a、71bに取着し、基板に面する側面71c以外の側面71d~71f(71eは図示無し)を遮蔽板で遮蔽して箱型ターゲットユニット70を構成している。これにより、より一層コンパクトな構成で保全性、生産性の良い工業生産に適した対向ターゲット式スパッタ装置が得られる。図6に示すように、この箱型ターゲットユニット70は、直方体状の構造材本例ではアルミニウムからなる枠体71の側面71a、71bに前述の図3~図5に示したターゲット部100a、100bを前述と同様にして枠体71と電気絶縁して取着し、基板20に背面する下面の開口部となる側面71cを除いてその他の側面71d~71fを遮蔽板72を前述のターゲット部の取り付けと同様にして耐熱性樹脂からなるパッキン73とOリング(図示省略)を介してボルト(図示省略)により取着して閉鎖した構成となっている(側面71e、71fでの遮蔽板72の図示は省略)。なお、遮蔽板72は耐熱性があり、真空遮断できれば良く、その材は限定されず、通常の構造材が適用でき、本例では枠体71と同じアルミニウムを用いた。そして、枠体71と遮蔽板72とは取り付けボルトにより電気的にも接続されている。なお、遮蔽板71は、必要に応じて、その外側に冷却管等を設けて冷却する。

【0019】そして、この箱型ターゲットユニット70は、その枠体71の側面71cで図示のように真空槽10の槽壁11に前述の図2、図3の場合と同様にして耐熱性樹脂からなるパッキン74とOリング(図示省略)を介してボルト(図示省略)により取り付けられる。なお、真空槽10と枠体71とは取り付けボルトにより電気的に接続されている。本例の対向ターゲット式スパッタ装置は、基板20を搬送しつつ、膜形成する構成のもので、この真空槽10の前後には図示省略したが公知の基板供給室と基板取り出し室が接続され、基板20をトレー22に載置して一定速度で搬送しつつ膜形成できるようになっている。なお、図の23はトレー22すなわち基板20を搬送する搬送用ローラである。この構成においても、箱型ターゲットユ

10

20

30

40

50

ニット70内ではターゲット110a、110bが所定間隔で対向し、かつプラズマの拘束磁界も前述の図2の配置のものと同じであり、よって前述と同じようにスパッタ電源を真空槽10の槽壁11を陽極として、ターゲット部100a、100bを陰極としてそれらの適所に接続してスパッタ電力を供給することによりスパッタが行われる。ところが、対向空間120の側面は開口部の図で下側の側面71cを除いて遮蔽されているので、スパッタ粒子は開口部のみから真空槽10に飛び出して対面する基板20にそのまま向かう。

従って、図1、図2の側面開放型に比べ、スパッタ粒子の真空槽10での基板以外への飛散が少なく、ターゲット利用効率及び保全性が向上する。

【0020】また、図から明らかなように、箱型ターゲットユニット70を用いると、真空槽10は基板20を収納できれば良く、非常にコンパクトなり、設備費面、真空吸引時間の短縮すなわち設備稼働率の向上等コスト面、生産性面でも一層の効果がある。なお、箱型ターゲットユニット70のターゲット面を除いた枠体71、遮蔽板72等の真空中間に露出した内面には、図6(b)に銅製などの金属製の網状体75がボルト止めにより全面に取り付けてある。網状体75は構造物間に挟み込むことにより取り付けるようにしてもよい。この網状体75により飛来したスパッタ粒子を剥離させることなく保持しておくことが可能になる。従って、枠体71、遮蔽板72の面に飛来するスパッタ粒子が長期に亘り堆積して形成される薄膜の壁面からの剥がれが防止され、剥がれた剥離片の落下等による異常放電、品質異常が無くなり、長期安定運転並びに品質向上が実現される。なお、網状体の網目の大きさは、形成する膜の材質とも関連し、実験的に決めることが好ましいが、通常は10~100メッシュの範囲で目的を達することが出来る。遮蔽板72の全て若しくは基板20と対向する側面71dの遮蔽板72は、図3~5に示したターゲット部100aから永久磁石130a、180aを除去してなるターゲット部と置換してもよい。なお、遮蔽板72を磁石抜きターゲット部と置換した場合にはそのターゲット部には前記の網状体は取り付けない。

【0021】〔第3の実施の形態〕ところで、工業化に際しては、前述のように、薄膜形成装置として、コンパクトな構成で、多層の薄膜を生産性良く、高品質で形成できることが求められている。かかる要請は、スパッタ部を簡略化したユニット構成としてコンパクト化した以下に示す本実施の形態の対向ターゲット式スパッタ装置により実現される。以下、その構成を図7~図9に基づいて説明する。図7は本実施の形態の箱型ターゲットユニット80の部分断面図を含む説明図、図8は図7の絶縁カバー157aを取り外して見た支持体部の平面図、図9は本実施の形態の箱型ターゲットユニットを用いた多層薄膜の形成に好適な対向ターゲット式スパッタ装置である。なお、ターゲット部100a、100bの外形は図3と同様であり、図7のターゲット部100aの側断面図は図3のC

—C線の断面に対応する断面図である。また、図7において電源配管部及び冷却配管部は、図を見易くするため、断面図でなく、側面図で示した。

【0022】図7から明らかなように、ターゲット部100a、100bの構成は、磁界調整手段の設置の仕方及び真空遮断の仕方を除いて基本的に前述の図3～図5と同じである。従って、上記の点以外の説明は省略する。また、ターゲット部100a、100bの構成は永久磁石の磁極の向きが逆になっている点を除けば、同一構成であるので、ターゲット部100aについてのみ説明する。磁界調整手段である永久磁石180aは、図5の連続した溝部181aの両端に配する構成に代えて、図7に示すように支持本体部151aの両端部に個別に溝部181aを設け、これに永久磁石180aを断面コの字状の保持部182aによりそれぞれ収納し、板状の取着板187aを真空シール用のOリング188aを介してネジ止めした構成となっている。すなわち、永久磁石180aは溝部181a内に密封され、温度上昇等により永久磁石180aからガスの発生があっても真空槽10内には漏れないようにして、該ガスの膜形成への影響を防止している。同じ目的から、本実施の形態では磁界発生手段の永久磁石130aもその収納部131aにOリング134aを介して閉鎖部材135aをネジ止めして、密封されている。なお、本実施の形態ではコア部材も設けないで簡略化しているが、実用上問題はない。

【0023】真空遮断は真空槽10の外部と接続する必要がある電源配管と冷却配管の接続部で行うようにしている。すなわち、電源配管については、上述の磁界調整手段の永久磁石180aの間の支持本体部151aの後面の中央部に電源配線193aを接続する電源取着部190aを設け、ここに真空遮断できる電気絶縁材具体的には耐熱性樹脂からなる異径フランジ接続部品191aをOリング192aを介して取り付け、これに同じくOリング（図示省略）を介して金属管からなる電線配管194aを接続して真空遮断すると共に電気絶縁した。この構成により電源配管部の中は大気となるので、配線は大気中にあり、大気から真空遮断された真空槽内では配線被覆からのガス発生等の問題が防止できる。また冷却配管については接続口163aに市販のスウェージロック（Swage lock）社の雄コネクター164aを螺着し、これに市販の電気絶縁できる絶縁継ぎ手165aを接続し、この絶縁継ぎ手165aに市販のスウェージロック（Swage lock）社のユニオン継手166aを用いて金属管からなる冷却配管167aを接続し、真空遮断並びに電気絶縁をした。従って、本実施の形態では、図4に示した第1の実施の形態の場合のようにバッキン部113aと支持本体部151aとの間で真空遮断する必要はなく、同図の真空遮断用のOリング116aは省略されている。

【0024】また、本実施の形態ではスパッタ部は全体が真空槽内に設置されるので、支持本体部150aも真空槽内にあり、場合によりこの部分で異常放電が発生する可能

10

20

30

40

50

性があり、その防止のため、支持本体部150aの後面及び側面を被覆するように電気絶縁材からなる絶縁カバー157aを設けてある。即ち、支持本体部150aの後面及び側面にはカソード電位が印加されているためアノード電位である真空槽10の内壁や後述の取着部81aとの間で異常放電が発生するのを防ぐために電気絶縁材からなる絶縁カバー157aが必要である。さらに、全体が真空槽内に設けられるので、箱型構造においても前述の第2の実施の形態のようにその枠体71で真空遮断する必要がなく、従って前述の図6に示されたような直方体の枠体71を用いる必要がなく、図7、図8に示すように簡略化できる。すなわち、両端に立方体の取着部81aを設けた対向するターゲットの間に応じた長さの棒状の構造材本例ではステンレスからなる4本の連結部材82a～82dでターゲット部100a、100bのフランジ部155aの四隅を連結して対向させ、対向ターゲットユニットを構成している。そして、その対向空間120の側面のうちで開口部の基板に面する側面本例では図8で上側（図7では奥側）の側面を除いて遮蔽板83a、83b、83cを連結部材82a～82dの取着部81aに取り付けて遮蔽し、箱型ターゲットユニット80としている。この遮蔽板83a～83cには、前述と同様に構造材が適用でき、本例ではステンレスを用いた。なお、各連結部材82a～82dは電気絶縁材の耐熱性樹脂からなるパッキン156aを介してフランジ部155aに取着されており、ターゲット部100a、100bと連結部材82a～82dとは互いに電気的に絶縁され、連結部材82a～82dと遮蔽板とは電気的に接続されている。

【0025】なお、遮蔽板83a～83cにはその外側面に冷却配管を配設して冷却できるようにすることが適用範囲の拡大面から好ましい。また、その内面には付着物の剥離防止の面から網状体で少なくともターゲット110a、110bに面する表面を被覆することが好ましい。連結部材82a～82dも同様に網状体で少なくともそのターゲット110a、110bに面する表面を被覆することが好ましい。この箱型ターゲットユニット80は真空槽内に設置して使用される。その一例として異なる2種類の膜を交互に多層積層した多層膜の形成に好適な対向ターゲット式スパッタ装置を図9に示す。この対向ターゲット式スパッタ装置は、2種類の薄膜を交互に多層積層することを目的としたもので、図から明らかなように、真空槽10の図で上側の槽壁11の外側に取り付けられた駆動モーター24の駆動軸25に支持され、基板20を保持して所定速度で回転される基板ホルダー21が槽内の上部に設けられ、この基板ホルダー21上の基板20に開口部が対面するように上述の箱型ターゲットユニット80が2ユニット槽内の下部に配置された構成となっている。

【0026】箱型ターゲットユニット80は、真空槽10の下側の槽壁11の内側に設けられた取着台12に図の矢印方向の取着角度が調整可能に結合された腕部13にその開口部の奥側の遮蔽板83cを介して設置されている。従つ

て、ターゲット部100a、100bを除いた遮蔽板83a～83c、連結部材82a～82d等は真空槽10の槽壁11に電気的に接続される。なお、図を見易くするために図示省略したが、各ターゲット部100a、100bへの電源配線の電源配管及び冷却のための冷却配管は腕部13と取着台12に沿って配管され、槽壁11を通して槽外に引き出されている。なお、図中、30、40は、図1、図2と同様に、ガスの排気口とスパッタガスの導入口で、それぞれ図示省略した排気系、ガス導入系に接続されている。そして、スパッタ電源は接地された真空槽10の槽壁11と、箱型ターゲットユニット80のターゲット部100a、100bの電源接続部190a、190b（図示省略）の間に接続されている。従って、前述の形態と同様に、所定圧まで排気後スパッタガスを導入して所定のスパッタガス圧に維持しながら、スパッタ電力を供給すると基板上に膜形成することができる。

【0027】従って、2ユニットの箱型ターゲットユニット80の夫々のターゲット100a、100bに積層する膜の材料からなるターゲットを取り付けて、基板20を所定速度で回転させながら所定膜厚毎にスパッタ電源をオン・オフさせ箱型ターゲットユニット80を交互に動作させて膜形成することにより2種類の薄膜が交互に所定数層積層された多層膜を生産性良く形成できる。また、装置としても、真空槽10に箱型ターゲットユニット80を設置するのみでよく、全体がコンパクトとなる。また、槽内の構成も簡素で清掃等の保全作業も容易である。

【0028】なお、かかる多層膜の具体例としては、ガラス基板上に屈折率の異なる誘電体薄膜を交互に数10～数100層積層した光通信の高密度波長分割多重（DWDM）通信方式において用いられる波長分割用フィルター等が挙げられる。ところで、本実施の形態の対向ターゲット式スパッタ装置は、設置するターゲットユニットの数は形成する薄膜構成に応じて選択され、特に限定されることは言うまでもない。また、この実施の形態のターゲットユニットは、部材の構造が簡単でコスト面でも有利であり、その取り扱いも容易で組立も簡単であり、コスト面並びに保全面でも大きな効果がある。また、設置面でも簡単な支持具で真空槽10内のどこにでも設置でき、既設装置にも大きな改造をすることなく、設置できる。このように、工業化に際して重要な効果を奏するものである。なお、本実施の形態のターゲットユニットは、箱型のみでなく、通常側面解放の対向ターゲットユニットとしても同様に有利に適用できるものであることはその趣旨から明らかである。

【0029】

【実施例】以上の本発明による対向ターゲット式スパッタ装置を用いた成膜の実施例について以下に説明する。図6の装置において、ターゲット110a、110bに、寸法が基板の幅方向の寸法すなわち幅が345mm、基板送り方向の寸法すなわち長さが95mm、厚みが7mmの形状のものを用い、ターゲット110a面とターゲット110bとの面

間隔を130mm、基板20に寸法が長さ（基板の搬送方向）25cm×幅30cm×厚み2mmのガラスを用い、基板20をトレー22及び搬送用ローラ23を介して搬送させながら基板表面への堆積実験を行った。なお、この際スパッタ電源にはENI社製直流電源DCG100（商品名）を用い、5kWを投入した。膜厚分布の評価は、基板20の長さ方向の一部に幅方向（図6のターゲット部100a、100bの長手方向）に亘ってテープを予め貼って置き、成膜後にこれを剥がして、触針式表面粗さ計（TENCO H社）を用いて幅方向の膜厚を測定して行った。本発明による磁界調整手段としては厚み5mm、長さ50mm、高さ25mmの板状の磁極強度が1000ガウス（0.1T）を超える永久磁石180aを用い、溝部181aの両端部にターゲット幅方向の両端から50mmずつ内側に位置するよう取着した。

【0030】（実施例1）ターゲットにインジュームターゲットを用いた。成膜後、ターゲット中心部の膜厚を基準100%として幅方向の膜厚分布を測定した結果、95%以上の幅が15cm、90%以上の幅が20cmであり、膜厚分布特性は中心部から対称的であった。磁界調整手段が無い従来例の場合の結果は、最大膜厚を基準100%として幅方向の膜厚分布を測定した結果、95%以上の幅が7.5cm、90%以上の幅が13cmであり、最大膜厚はターゲット中心から5cm偏移していた。

【0031】（実施例2）ターゲットに銅ターゲットを用いた。成膜後、ターゲット中心部の膜厚を基準100%として幅方向の膜厚分布を測定した結果、95%以上の幅が15cm、90%以上の幅が20cmであり、膜厚分布特性は中心部から対称的であった。磁界調整手段が無い従来例の場合の結果は、最大膜厚を基準100%として幅方向の膜厚分布を測定した結果、95%以上の幅が8.0cm、90%以上の幅が13cmであり、最大膜厚はターゲット中心から1cm偏移していた。

【0032】実施例1及び2に使用したターゲットの浸食状況を観察した結果、従来の磁界調整手段が無い場合には長方形ターゲットの一方の対角の2隅の外縁部分で浸食がその他の部分に比べ少し増加していた。本発明の場合には、長方形ターゲットの前記2隅の外縁部分での浸食の増加は見られず、4隅を含め全面で均一な浸食であった。ターゲットは、浸食分布があると浸食の進む部分でバッキングプレート表面が露出してコンタミの混入により使用が出来なくなるので、その使用効率は浸食分布が増加することにより低下することになる。本実施例では従来例の隅部での浸食増加を改善することにより従来例と比較して10%程度のターゲット使用効率の改善ができた。また、本実施例では従来例と同じスパッタレーで膜形成が問題なくでき、長期使用後も磁界発生手段、磁界調整手段の永久磁石130a、180aには全く問題なかった。すなわち、冷却ジャケットをバッキング部の内側にした本発明の構成において、従来例と実質的な差の

ない冷却ができることが確認された。

【0033】以上、本発明を実施の形態、実施例に基づいて説明したが、本発明はかかる実施例に限定されることはその趣旨から明らかである。例えば、電子反射手段を備えた例を示したが、電子反射手段を備えない対向ターゲット式スパッタ装置にも適用できることはその趣旨から明らかである。また、箱型ターゲットにおいて開口部奥側の側面の遮蔽板をターゲット部に、或いは全ての遮蔽板をターゲット部に変えた構成にも適用できることは、同様に明らかである。

(0034)

【発明の効果】本発明は、以上の通り、対向ターゲット式スパッタ装置において、ターゲットを取着するバッキング部の内部に冷却ジャケットを設け、一体物の熱良導体の支持体部に直接接するように取り付けたものでは、信頼性、保全性が大きく向上するものである。また、マグネットロンモードの磁界を調整する磁界調整手段を設けたものでは、基板に堆積される薄膜の膜厚分布の調整ができ、均一な膜厚部分を拡大できる。また、ターゲット全面での浸食の均一性も向上でき、ターゲットの使用効率も向上する。これらの作用は、工業生産においては生産性の向上、生産コストの低減、製品化率の向上更には省資源に直結するもので、非常に重要な効果を奏するものである。このように本発明は対向ターゲット式スパッタ装置の工業化更には薄膜製造関連分野に大きな寄与を為すものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】図1は、従来の対向ターゲット式スパッタ装置の基本構成の説明図である。

【図2】図2は、本発明の第1の実施の形態の対向ターゲット式スパッタ装置の基本構成の説明図である。

【図3】図3は、本発明の実施例のターゲット部の概略斜視図である。

【図4】図4は、図3のA-A線での側断面図である。

【図5】図5は、図4のB-B線での概略断面図である。

【図6】図6は、本発明の第2の実施の形態の箱型ターゲットユニットを用いたスパッタ装置の要部の概略側断面斜視図と箱型ターゲットユニットの断面図である。

【図7】図7は、本発明の第3の実施の形態の箱型ターゲットユニットの構成を示す部分側断面を含む説明図である。

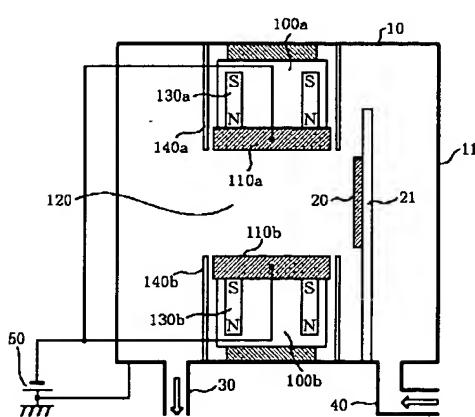
【図8】図8は、図7のターゲット部の支持本体部の下方から見た平面図である。

【図9】図9は、図7の箱型ターゲットユニットを用いたスパッタ装置の構成の説明図である。

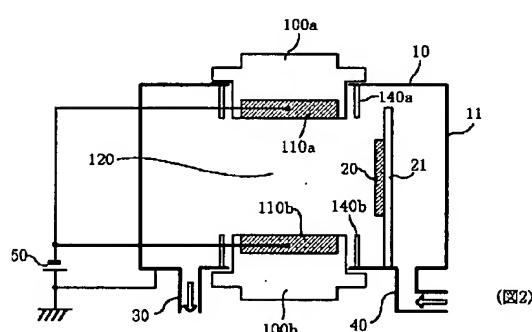
【符号の説明】

10 真空槽
 20 基板
 30 排気口
 40 導入口
 50 スパッタ電源
 20 70、80 箱型ターゲットユニット
 71 柱体
 82a～82d 連結部材
 100a、100b ターゲット部
 110a、110b ターゲット
 120 対向空間
 130a、130b 永久磁石（磁界発生手段）
 140a、140b シールド
 150a 支持体部
 160a 冷却ジャケット
 30 170a 電子反射手段
 180a 永久磁石（磁界調整手段）
 190a 電源接続部

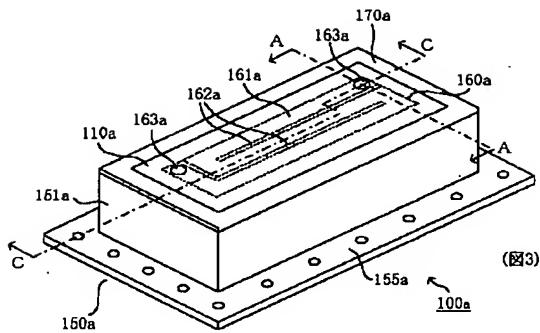
11



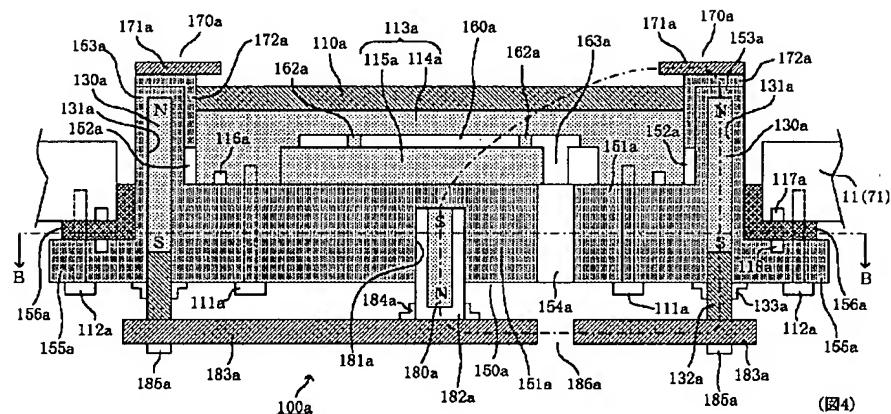
【图21】



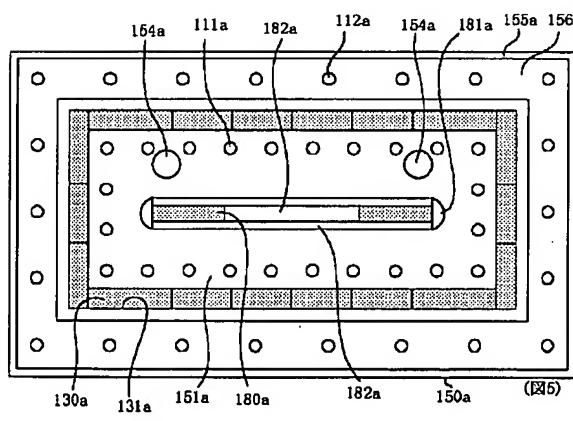
【図3】



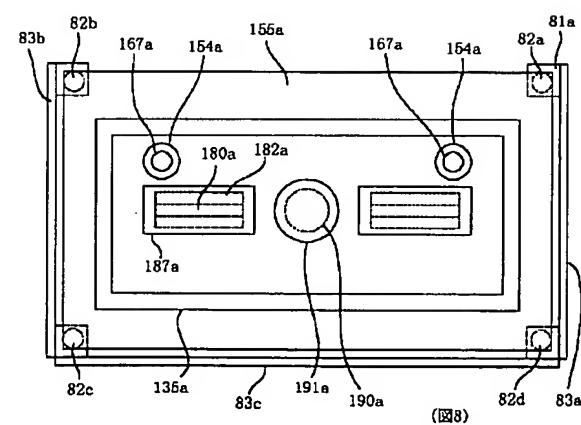
【図4】



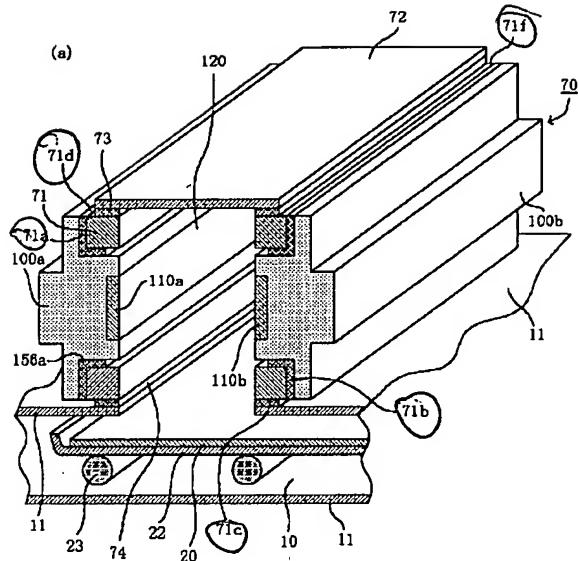
〔図5〕



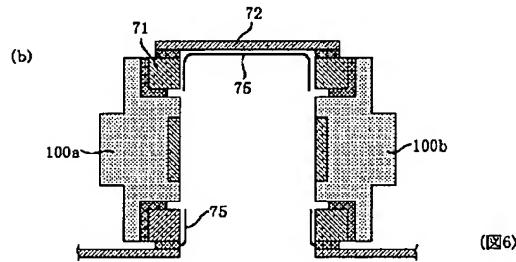
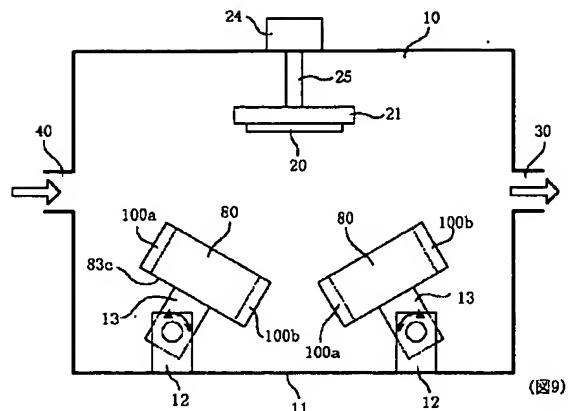
〔図8〕



【図6】



【図9】



【図7】

